

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 195 03 895 A 1

⑲ Aktenzeichen: 195 03 895:9  
⑳ Anmeldetag: 7. 2. 95  
㉑ Offenlegungstag: 8. 8. 96

⑤1 A 16 S 34  
Int. Cl. 8  
E 04 G 21/04  
B 65 G 53/32  
B 65 G 53/66  
// B 65 G 53/52

DE 195 03 895 A 1

⑦1 Anmelder:  
Putzmeister-Werk Maschinenfabrik GmbH, 72631  
Aichtal, DE

⑦4 Vertreter:  
E. Wolf und Kollegen, 70193 Stuttgart

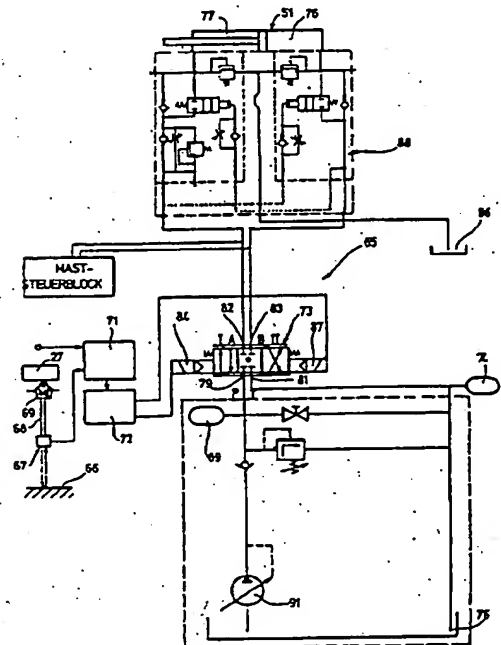
⑦2 Erfinder:  
Schlecht, Karl, Dipl.-Ing., 70794 Filderstadt, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 34 09 474 C2  
DE 44 12 843 A1  
DE 43 08 127 A1  
DE 42 33 171 A1  
DE 42 33 171 A1  
DE 76 27 803 U1  
EP 04 32 854 A1

⑤4 Betonpumpe mit Verteilmast

⑤7 Die Erfindung bezieht sich auf eine Betonpumpe mit einem aus mindestens drei Segmenten (23, 24, 25, 26, 27) bestehenden, als Knickarm (22) ausgebildeten Verteilmast, einer entlang den Segmenten des Verteilmasts geführten Förderleitung (18) und einem an der Mastspitze (41) frei hängend angeordneten Endschlauch (43) der Förderleitung, über den der Beton zur Betonierstelle (18) hin austritt. Um überhöhte Auslenkungen des Endschlauchs (43) aufgrund von Schwingungen des Knickarms während des Betonierbetriebs zuverlässig vermeiden zu können, wird gemäß der Erfindung ein Lageregelkreis (65, 65') vorgeschlagen, der innerhalb eines vorgebbaren Variationsbereichs das Niveau des Endes des Endschlauchs (43) bezüglich einer ortsfesten horizontalen Bezugsebene (66, 66') stabilisiert.



DE 195 03 895 A 1

Die Erfindung betrifft eine Betonpumpe mit einem als Träger für eine Förderleitung dienenden Verteilermast, der einen aus mehreren Segmenten bestehenden, als Knickarm ausgebildeten Ausleger hat und mit den weiteren, im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 genannten, gattungsbestimmenden Merkmalen.

Bei stationären und fahrbaren Betonpumpen dieser Art wird der Verteilermast durch Ansteuerung eines Drehantriebes um eine Hochachse auf die Betonierstelle hin ausgerichtet und durch Ansteuerung von den einzelnen Segmenten zugeordneten Knickantrieben auf die bis zu der Betonierstelle zu überbrückenden Distanzen so eingestellt, daß die durch das freie Ende des Auslegers gebildete, einen frei hängenden Endschlauch der Förderleitung tragende Mastspitze in definiertem Abstand vom Betonierniveau positionierbar ist.

Bei den bekannten Betonpumpen werden die zum Anfahren der Betonierstellen erforderlichen Mastbewegungen üblicherweise von einem Mastführer, z. B. mittels einer Funk-Fernsteuerung "von Hand" gesteuert, während ein Assistent des Mastführers (Schlauchmann) den Endschlauch über die vorgesehene Betonierstelle führt. Der Ausleger ist seiner Konstruktion nach ein elastisch schwingungsfähiges System, das zu Eigenschwingungen anregbar ist. Eine resonante Anregung solcher Schwingungen kann dazu führen, daß das freie Ende des Auslegers mit Amplituden von einem Meter und mehr schwingt. Eine Schwingungsanregung ist z. B. durch den pulsierenden Betrieb der üblicherweise als Zweizylinder-Pumpe ausgebildeten Förderpumpe und die hieraus resultierende periodische Beschleunigung und Verzögerung der durch die Förderleitung gedrängten Betonsäule möglich. Ein resonantes Aufschaukeln der Mastschwingung hat vor allem bei größeren Fördermengen zur Folge, daß der Beton nicht mehr gleichmäßig verteilt werden kann und der Schlauchmann gefährdet wird. Zwar läßt sich die Wahrscheinlichkeit der resonanten Schwingungsanregung des Auslegers durch eine horizontale Führung des letzten Armsegments, eine Verkürzung von Umschaltphasen der Pumpzylinder der Betonpumpe, ein schnelles Wiederanschieben der Betonsäule und Maßnahmen zur Druckdämpfung beim Wiederanschieben der Betonsäule reduzieren, jedoch nicht völlig vermeiden. Es bleibt daher oft nichts anderes übrig, als die Fördermenge der Pumpe zurückzugelen.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, bei einer Betonpumpe mit Verteilermast der eingangs angegebenen Art Vorkehrungen zu treffen, mit denen überhöhte Auslenkungen des Endschlauchs am Verteilermast zuverlässig vermieden werden können.

Zur Lösung dieser Aufgabe werden die im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale vorgeschlagen.

Die Erfindung geht von dem Gedanken aus, daß die beim Betonierbetrieb auftretenden Auslenkungen der Mastspitze des Verteilermasts auch bei hohen Förderleistungen dynamisch neutralisiert und dabei auf vom Schlauchmann handhabbare Auslenkungen von beispielsweise 10 bis 20 cm reduziert werden können. Um dies zu erreichen, wird gemäß der Erfindung vorgeschlagen, daß ein als Festwert-Regelkreis ausgebildeter Lage-Regelkreis vorgesehen ist, der innerhalb eines vorgebbaren Variationsbereichs das Niveau des mastseitigen Endes des Endschlauchs bezüglich einer ortsfesten, horizontalen Bezugsebene stabilisiert. Weiter kann eine Sensoreinrichtung vorgesehen sein, die für minde-

stens die Richtung lastwechselbedingter Auslenkungen der Mastspitze charakteristische Ausgangssignale erzeugt, durch die ein Koordinaten-Stellantrieb zu kompensatorischen Auslenkungen der Mastspitze und/oder des Endschlauchs ansteuerbar ist.

Diese Art der Lageregelung ist dann besonders effektiv und technisch günstig, wenn als Koordinaten-Stellantrieb der Knickantrieb des die Mastspitze aufweisenden Endsegments des Knickarms genutzt und dieses während des Betonierens annähernd horizontal gehalten wird. Dies ist in der überwiegenden Zahl der Einsatzfälle einer Betonpumpe möglich. Da die Faltbarkeit des Auslegers auch noch andere Ausleger-Konfigurationen zuläßt, ist es von Vorteil, wenn mindestens ein weiterer Knickantrieb des Knickarms, vorzugsweise der Knickantrieb des mit dem Endsegment gelenkig verbundenen Segments, als Koordinaten-Stellantrieb genutzt wird.

Aus regelungstechnischen Gründen ist es wichtig, daß die Kennkreisfrequenz des Koordinatenstellantriebs des Lage-Regelkreises einem Vielfachen der Frequenz der höchstfrequenten Eigenschwingung des Knickarms entspricht.

Eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die Sensoreinrichtung mindestens einen der nachfolgend genannten Geber umfaßt, der ein für die erfaßte Größe charakteristisches elektrisches Ausgangssignal erzeugt:

- a) einen Abstandssensor für die Erfassung des Abstandes zwischen Mastspitze und Bezugsebene,
- b) einen Beschleunigungsgeber, der vorzugsweise an der Mastspitze angeordnet ist,
- c) einen Neigungsgeber für das Endsegment des Auslegers.

Eine besonders einfache und entsprechend kostengünstige Realisierung eines schwingungsneutralisierenden Lageregelkreises mit hoher Funktionssicherheit sieht vor, daß der Lageregelkreis ein als Proportionalventil ausgebildetes Neutralisierungs-Steuerventil enthält, über das der Koordinaten-Stellantrieb aus einer Hilfsdruckquelle versorgbar ist, wobei der Lageregelkreis im Regelungsbetrieb gegen den Druckausgang des für den Positionierungsbetrieb des Verteilermasts vorgesehenen Druckversorgungsaggregat abgesperrt ist. Das Neutralisierungs-Steuerventil ist zweckmäßig in der Nähe des Antriebs-Hydrozylinders des als Koordinatenstellantrieb genutzten Knickantriebs angeordnet. Die Hilfsdruckquelle des Lageregelkreises kann einen Hochdruckspeicher aufweisen, der in unmittelbarer Nähe des Neutralisierungs-Steuerventils angeordnet ist. Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß das Neutralisierungs-Steuerventil als Proportionalventil ausgebildet ist, das über einen unter Zug-Vorspannung stehenden Seilzug betätigbar ist, dessen Zugseil mit seinem einen Ende mittelbar oder unmittelbar an einem Steuerelement des Neutralisierungs-Steuerventils angreift und mit seinem anderen Ende am Körper einer den Endschlauch führenden Bedienungsperson festgelegt ist.

Das Zugseil kann dabei beispielsweise über mindestens eine am Endsegment angeordnete Umlenkrolle zum Steuerelement geführt werden, wobei eine Umlenkrolle in der Nähe der Mastspitze angeordnet sein sollte.

Alternativ dazu ist es möglich, das Zugseil über einen am Endsegment in der Nähe der Mastspitze mit im we-

sentlichen quer zur Knickebene des Endsegments ausgerichteter Hebelachse angelenkten Hebel mit dem Steuerelement zu koppeln. Der Hebel kann dabei als zweiarmliger Winkelhebel ausgebildet sein, an dessen Kraftarm das eine Zugseilende in wählbarem Abstand von der Hebelachse befestigbar ist und dessen Lastarm unmittelbar oder mittelbar, beispielsweise über ein weiteres Zugseil oder eine Stange mit dem Steuerelement gekoppelt ist. Damit kann die Übersetzung zwischen Kraftarm und Lastarm beliebig eingestellt und auf den bezüglich der auftretenden Vertikalbewegung kleinen Steuerweg des ventileitigen Steuerelements abgestimmt werden. Um zusätzlich auch die Drehbewegung des Masts um die Vertikalachse mit einfachen Mitteln erfassen und für Steuerungszwecke ausnutzen zu können, ist es vorteilhaft, wenn die Umlenkrolle oder der Hebel zusätzlich um eine quer zur Hebelachse und etwa parallel zum Endsegment verlaufende, mit einem Drehgeber bestückte Drehachse verschwenkbar am Endsegment gelagert ist.

Gemäß einer weiteren alternativen Ausgestaltung der Erfindung kann das Neutralisierungs-Steuerventil als elektrisch steuerbares oder elektrisch vorsteuerbares Proportionalventil ausgebildet werden, das durch Steuersignale einer die Ausgangssignale zur Erfassung von Schwingungen des Knickarms vorgesehener Sensoren verarbeitenden Steuereinheit ansteuerbar ist.

Der Abstandssensor kann auch als aktiver Sensor ausgebildet sein, der nach dem Prinzip der Laufzeitmessung von Impulssignalen arbeitet. Insbesondere kann der Abstandssensor als Ultraschallsensor ausgebildet sein, der höhenverstellbar in der Nähe der Mastspitze des Endsegments angeordnet ist. Er kann zu diesem Zweck an einem vom Endsegment des Knickarms herabhängenden, um mindestens eine Achse, die parallel zur Achse des Knickgelenks des Endsegments verläuft, frei beweglichen, vorzugsweise kardanisch aufgehängten Pendel angeordnet sein.

Zur Markierung einer Bezugsebene für die Abstandsmessung kann auch eine Laserlichtquelle vorgesehen werden, wobei zusätzlich eine Auf- und Abbewegungen des Endsegments des Knickarms mitausführende Detektoranordnung vorgesehen ist, die eine Anzahl von in vertikalen Abständen voneinander unterhalb und oberhalb der Bezugsebene angeordneten Fotodetektoren aufweist.

Unabhängig von der Gestaltung des Lageregelkreises kann eine schwingungsneutralisierende Wirkung auch durch einen passiven Schwingungstilger erzielt werden.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der in der Zeichnung in schematischer Weise dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 eine Seitenansicht einer Autobetonpumpe mit zusammengelegtem Verteilermast;

Fig. 2 die Autobetonpumpe nach Fig. 1 mit Verteilermast in Arbeitsstellung;

Fig. 3 einen vergrößerten Ausschnitt aus dem Verteilermast mit einer Regelungseinrichtung zur Lageregelung;

Fig. 4 eine Darstellung entsprechend Fig. 3 mit einer abgewandelten Lage-Regelung;

Fig. 5 eine Darstellung entsprechend Fig. 3 mit einer weiteren abgewandelten Lage-Regelung;

Fig. 6 das elektrohydraulische Schaltbild eines Lage-Regelkreises zur schwingungsneutralisierenden Ansteuerung des Knickantriebs des Endsegments eines Verteilermasts;

Fig. 7a bis c Einzelheiten einer Abstandsmeßeinrichtung

mit Laserlichtquelle.

Die in der Fig. 1 insgesamt mit 10 bezeichnete Autobetonpumpe umfaßt ein Transportfahrzeug 11 eine z. B. als Zweizylinder-Pumpe ausgebildete Beton-Förderpumpe 12 sowie einen um eine fahrzeugfeste Hochachse 13 drehbaren, insgesamt mit 14 bezeichneten Verteilermast als Träger für eine Beton-Förderleitung 16. Über die Förderleitung 16 wird Flüssig-Beton, der in einen Aufgabeebehälter 17 während des Betonierens fortlaufend eingebracht wird, zu einer von dem Standort des Fahrzeuges 11 entfernt angeordneten Betonierstelle 18 gefördert.

Der Verteilermast 14 besteht aus einem mittels eines hydraulischen Drehantriebes 19 um die Hochachse 13 drehbaren Mastbock 21 und einem an diesem schwenkbaren, Knickarm 22 als Ausleger, der auf variable Reichweite und Höhendifferenz zwischen dem Fahrzeug 11 und der Betonierstelle 18 kontinuierlich einstellbar ist.

Der Knickarm 22 besteht beim dargestellten Ausführungsbeispiel aus fünf gelenkig miteinander verbundenen Arm-Segmenten 23 bis 27, die um parallel zueinander und rechtwinklig zu der Hochachse 13 des Mastbocks 21 verlaufende Achsen 28 bis 32 schwenkbar sind. Die Knickwinkelbereiche  $\varepsilon_1$  bis  $\varepsilon_5$  (Fig. 2) der durch die Gelenkachsen 29 bis 32 repräsentierten Knickgelenke und deren Anordnung zueinander sind so aufeinander abgestimmt, daß der Knickarm 22 mit der aus Fig. 1 ersichtlichen, einer mehrfachen Z-Faltung entsprechenden raumsparenden Transportkonfiguration auf dem Fahrzeug 11 ablegbar ist. Durch programmgesteuerte Aktivierung von Knickantrieben 34 bis 38, die den Gelenkachsen 28 bis 32 einzeln zugeordnet sind, ist der Knickarm 22 in unterschiedlichen Distanzen und/oder Höhendifferenzen zwischen der Betonierstelle 18 und dem Fahrzeug-Standort entfaltbar.

Die Knickantriebe 34 bis 38 haben als Antriebselemente doppelt wirkende lineare Hydrozylinder 47 bis 51. Die Kolbenstangen 54 bis 57 der Hydrozylinder 48 bis 51 sind an je einem Lenker 59 eines Gelenkvierecks 61 angelenkt, das die Umsetzung der linearen Kolbenstangenhübe in 180°- oder 270°-Schenkhübe des jeweiligen Armsegments 24 bis 27 vermittelt.

Die Beton-Förderleitung 16 ist auf in an den Arm-Segmenten 23 bis 27 fest verlegte Rohr-Segmente 16' unterteilt, die über Rohrgelenke 39, deren Gelenkachsen mit den Knickachsen 28 bis 32 der Arm-Segmente 23 bis 27 des Knickarms 22 je einzeln zusammenfallen, schwenkbar miteinander verbunden sind.

Das letzte Rohr-Segment 16' der Beton-Förderleitung 16, das am freien End-Segment 27 des Auslegers 22 verlegt ist, endet mit einem Rohrgelenk 42 mit zu den Knickachsen 28 bis 32 paralleler Gelenkachse 33, an dem ein frei nach unten hängender Endschlauch 43 angeschlossen ist.

Der Mastführer steuert z. B. mittels einer Funk-Fernsteuerung die Mastbewegungen, durch die die Mastspitze 41 mit dem Endschlauch 43 über den zu betonierenden Bereich hinweg geführt wird. Der Endschlauch 43 hat eine typische Länge von 3 bis 4 m und kann wegen seiner gelenkigen Aufhängung im Bereich der Mastspitze 41 und aufgrund seiner Eigen-Flexibilität mit seinem Austrittsende 44 vom Schlauchmann 45 in der günstigsten Position zur Betonierstelle 18 gehalten werden.

Der Verteilermast 14 stellt ein aus mehreren je für sich schwingungsfähigen Teilsystemen bestehendes, komplexes, insgesamt schwingungsfähiges System dar, das im Betrieb der Autobetonpumpe 10 resonant zu Schwingungen anregbar ist. Die Schwingungen können

zu Auslenkungen der Mastspitze 41 und des an dieser hängenden Endschlauchs 43 mit Amplituden um 1 m und Frequenzen zwischen 0,5 und einigen Hz führen.

Um die durch die Schwingungen des Knickarms 22 hervorgerufenen Auslenkungen des Endschlauchs 43 weitgehend zu vermeiden oder mindestens auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren, ist ein in der Fig. 6 insgesamt mit 65 bezeichneter Lage-Regelkreis vorgesehen, mittels dessen das Niveau, auf dem sich die Mastspitze 41 des Knickarms 22 oberhalb der Betonierstelle 18 befindet, stabilisierbar ist. Als Bezugsniveau 66 ist der als eben vorausgesetzte Baustellenbereich gewählt, auf dem sich der Schlauchmann 45 in der Nähe der Betonierstelle 18 bewegen kann.

Zur Erfassung des vertikalen Abstandes der Mastspitze 41 vom Bezugsniveau 66 ist gemäß Fig. 3 und 6 ein Ultraschall-Abstandssensor 67 vorgesehen, der am unteren Ende eines Pendelstabs 68 mit einstellbarer Länge angeordnet ist, so daß er je nach Länge des Endschlauchs 43 stets auf denselben vertikalen Abstand  $h_s$  von dem Bezugsniveau 66 einstellbar ist. Der Pendelstab 66 ist mittels eines Kardangelenks 69 an dem Endsegment 27 des Knickarms 22 hängend gelagert. Der vertikale Abstand  $h_s$  des Ultraschallsensors 67 vom Boden 66 ist so gewählt, daß der mittlere Betrag  $h_s$  der Meßstrecke geringfügig größer ist als die maximale Auslenkungsamplitude des Endsegments 27 des Knickarms 22 im Bereich oberhalb des Abstandssensors 67. Der horizontale Abstand  $A_h$  des Pendelstabs 68 von der Mastspitze 41 ist mit etwa 1,5 Metern so groß bemessen, daß der Schlauchmann zwischen dem Abstandssensor 67 und dem Endschlauch 43 genügend Bewegungsfreiheit hat.

Der Abstandssensor 67 ist dahingehend ausgelegt, daß eine Änderung  $dh_s$  des vertikalen Abstandes  $h_s$  des Abstandssensors 67 von der Bezugsebene 66 um wenige, z. B. 2 bis höchstens 5 cm zuverlässig erkennbar ist. Diese Auslegung ist bei Ultraschallfrequenzen im 100-kHz-Bereich bei Schallimpuls-Wiederholungsfrequenzen unterhalb des 10-kHz-Bereichs möglich, für den sowohl leistungsstarke Ultraschall-Quellen als auch rauscharme Detektoren und relativ unkomplizierte elektronische Steuereinheiten zur Verfügung stehen.

Sowohl zum Zweck einer einfachen Realisierbarkeit des Lage-Regelkreises 65 als auch zum Zweck der Vereinfachung seiner Erläuterung sei vorausgesetzt, daß der Verteilermast 14 beim Betonieren in einer Konfiguration seiner Knickarm-Segmente 23 bis 27 betrieben wird, in der das mit der Mastspitze 41 endende Knickarm-Segment 27 horizontal angeordnet ist.

Der Abstandssensor 67 erzeugt in Betrieb der Betonpumpe 10 fortlaufend elektrische Ausgangssignale, die ein direktes Maß für seinen vertikalen Abstand  $h_s$  von dem Bezugsniveau 66 sind. Diese Signale werden in einer Vergleichsstufe 71 mit einem einstellbar vorgegebenen Sollwert-Signal verglichen, wobei die Vergleichsstufe 71 fortlaufend Ausgangssignale erzeugt, die nach Betrag und Vorzeichen die Information über Abweichungen der Ist-Position der Mastspitze 41 von deren Soll-Position beinhalten. Diese Ausgangssignale der Vergleichsstufe 71 werden von einer Verarbeitungsstufe 72 nach einem vorgegebenen Algorithmus, der das Regelverhalten des Regelkreises 65 bestimmt, zu Ansteuersignalen für den Knickantrieb 38 des des Endschlauchs 43 tragenden Endsegments 27 verarbeitet, das hierdurch im Sinne einer Rückkehr in seine Sollage geschwenkt wird. Zur Ansteuerung des Endsegment-Antriebes 38 zu Stellbewegungen, durch die schwingungs-

bedingten Auslenkungen dieses Segments 27 kompensatorisch beeinflußt werden, ist ein als 4/3-Wege-Proportionalventil ausgebildetes Neutralisierungs-Steuerventil 73 vorgesehen, das zum Zweck der Erläuterung als druck-betätigtes, elektrohydraulisch vorgesteuertes Ventil vorausgesetzt ist, über das der Ausgangsdruck einer Hilfsdruckquelle 74 alternativ in den bodenseitigen Druckraum 76 oder den stangenseitigen Druckraum 77 des Antriebszylinders 51 des Endsegments-Knickantriebes 38 einkoppelbar ist und der jeweils andere Druckraum 77 oder 76 mit dem drucklosen Vorratsbehälter 78 der Hilfsdruckquelle 74 verbindbar ist.

Das Neutralisierungs-Steuerventil 73 hat eine federzentrierte Grundstellung 0, in der sein Hochdruck (P)-Versorgungsanschluß 79, sein Tank (T)-Anschluß 81, sein A-Steuersanschluß 82, über den die Druckbeaufschlagung und -entlastung des stangenseitigen Druckraumes 77 des Antriebszylinders 51 erfolgt, sowie sein B-Steuersanschluß 83, über den die Druck-Beaufschlagung und -entlastung des bodenseitigen Druckraumes 76 des Antriebszylinders 51 erfolgt, gegeneinander abgesperrt sind.

Das Neutralisierungs-Steuerventil 73 ist einerseits durch Erregung seines einen, ein Vorsteuerventil repräsentierenden Steuermagneten 84 in seine Funktionsstellung 1 steuerbar ist. In dieser Stellung ist der hohe Ausgangsdruck der Hilfsdruckquelle 74 in den stangenseitigen Druckraum 77 des Antriebszylinders 51 eingekoppelt, dessen bodenseitiger Druckraum 76 mit dem drucklosen Tank 86 des im übrigen nicht dargestellten Druckversorgungsaggregats der Autobetonpumpe 10 verbunden ist. Andererseits ist das Neutralisierungs-Steuerventil 73 durch Erregung seines anderen, ebenfalls ein Vorsteuerventil repräsentierenden Steuermagneten 87 in seine Funktionsstellung II steuerbar ist. In dieser Stellung ist der hohe Ausgangsdruck der Hilfsdruckquelle 74 in den bodenseitigen Druckraum 76 des Antriebszylinders 51 eingekoppelt, dessen stangenseitiger Druckraum 77 zum Tank 86 des Druckversorgungsaggregats hin druckentlastet ist. Der Knickantrieb 38 des Knickarm-Endsegments 27 ist durch seine Dimensionierung und die Auslegung der Hilfsdruckquelle 74 auf eine Kennkreisfrequenz ausgelegt, die deutlich, d. h. mindestens fünfmal höher ist als die höchste Frequenz der resonant anregbaren Schwingungen des Knickarms 22 bzw. seines Endsegments 27, damit aus einer Anregung solcher Schwingungen resultierende Auslenkungen der Mastspitze 41 und des Endschlauchs 43 durch den Regelkreis 65 feinfühlig kompensatorisch geregelt werden können. Dem Zweck eines sensiblen Ansprechens des als Stellglied des Regelkreises 65 ausgenutzten Antriebs-Hydrozylinders 51 dient auch die Maßnahme, daß ein Druckspeicher 89 der Hilfsdruckquelle 74, aus dem der Antriebs-Hydrozylinder 51 mit Druck beaufschlagbar ist, in unmittelbarer Nähe des Antriebs-Hydrozylinders 51 angeordnet ist.

Eine für die Hilfsdruckquelle 74 eigens vorgesehene Hochdruck-Versorgungspumpe 91 kann dann ohne weiteres in größerer Entfernung von dem Antriebs-Hydrozylinder 51 angeordnet sein.

Ein zu dem Ultraschall-Abstandssensor 67 funktionsanaloger Abstandssensor 67' ist, wie in der Fig. 3 angedeutet, auch mit optoelektronischen Sende- und Empfangselementen, z. B. Laser-Dioden 92 und Fotodetektoren 93 möglich, die in Analogie zum Ultraschallsensor 67 Laufzeitmessungen von Lichtimpulsen zur Dauer ermöglichen, die an der Bezugsebene 66 reflektiert bzw. gestreut werden. Ein derartiger opto-elektronischer

Abstandssensor 67' ist zweckmäßig fest am Endsegment 27 des Knickarms 22 montiert.

Zwei weitere Realisierungsmöglichkeiten eines Lage-  
regelkreises 65' sind in den Fig. 4 und 5 dargestellt.

Bei dem Lageregelkreis 65' ist das Neutralisierungs-  
Steuerventil 73' als mechanisch betätigbares Ventil aus-  
gebildet, das mittels eines Hebels 117 mit kurzem Last-  
arm 117' und langem Kraftarm 117'' betätigbar ist, wo-  
bei das Neutralisierungs-Steuerventil 73' als Proportio-  
nalventil ausgebildet ist.

Zur Schwenk-Betätigung des Hebels 117 ist im Falle  
der Fig. 4 ein insgesamt mit 118 bezeichneter Seilzug  
vorgesehen, der ein mittels eines Seilspanners 119 unter  
Zug-Vorspannung gehaltenes Zugseil 121 einstellbarer  
Länge umfaßt. Das Zugseil ist über eine in der Nähe der  
Mastspitze 41 angeordnete Umlenkrolle 123 so verlegt,  
daß ein am Bedienungshebel 117 befestigtes, sich zwis-  
schen dessen freiem Ende und der Umlenkrolle 123 er-  
streckendes Trum 121 des Zugseils 121 parallel zum  
Endsegment 127 erstreckt und ein mit seinem freien  
Ende am Schlauchmann 45, z. B. an einem von diesem  
getragenen Gürtel 127 befestigbares Trum 121'' zwis-  
chen der Umlenkrolle 123 und dem Schlauchmann im  
wesentlichen senkrecht nach unten verläuft. Die Länge  
des Endtrums 121'' ist z. B. durch Aufwickeln auf eine  
am Gürtel 127 des Schlauchmannes 45 befestigte Seil-  
rolle 128 einstellbar und dadurch auch die Vorspannung  
des Seilspanners 119 vorgebar. Dadurch ist auch die  
federzentrierte Grundstellung 0 des Neutralisierungs-  
Steuerventils 73' einstellbar, die durch die Vorspannung  
des Zugseils 121 sowie die Vorspannungen einer der  
Seilspannung entgegenwirkenden Ventiltfeder 129 und  
einer gleichsinnig wie die Seilspannung wirkenden Ven-  
tilfeder 131 vorgegeben ist.

Der insoweit seinem Aufbau nach erläuterte Lage-  
regelkreis 65' arbeitet, wie aus der Fig. 4 unmittelbar  
ersichtlich, wie folgt:

Erfährt die Mastspitze 41 eine schwingungsbedingte  
Auslenkung nach oben, so erhöht sich die Seilspannung  
des Zugseils 121, wodurch der Betätigungshebel 117 in  
Richtung des Pfeils 132 geschwenkt wird und das Neu-  
tralisierungs-Steuerventil 73' in seine Funktionsstellung  
1 gelangt (Fig. 6), so daß das Knickarm-Endsegment 27  
kompensatorisch nach unten geschwenkt wird. Entspre-  
chend gelangt bei einer Auslenkung der Mastspitze 41  
nach unten das Neutralisierungs-Steuerventil 73' auf-  
grund der sich erniedrigenden Seilspannung in seine  
Funktionsstellung II, wodurch das Knickarm-Endseg-  
ment 27 im Sinne einer Aufwärts-Knickbewegung ange-  
trieben wird.

Die in der Nähe der Mastspitze 41 angeordnete Umlenk-  
rolle 123 ist auch um eine zwischen ihrer Drehachse  
126 und dem Endsegment 27 in dessen Längsrichtung  
verlaufende Achse 175 schwenkbar an diesem gelagert,  
wobei diesbezügliche Auslenkungen der Umlenkrolle  
123 mittels eines Drehstellungs-Gebers 134 erfaßt wer-  
den und im Sinne einer Nachlauf-Regelung zur An-  
steuerung von Drehbewegungen des Verteilmasts 14  
insgesamt um dessen Hochachse 13 ausnutzbar sind.

Bei dem in Fig. 5 gezeigten Ausführungsbeispiel wird  
das Neutralisierungs-Steuerventil 73' über eine kombi-  
nierte Zugseil-Hebelanordnung 118 betätigt, die einen  
am Endsegment 27 um eine Querachse 170 schwenkba-  
ren, zweiarmigen Winkelhebel 172, 173 sowie ein zwis-  
chen dem Lastarm 172 des Winkelhebels und dem  
Stellelement 117 des Neutralisierungs-Steuerventils 73'  
eingespanntes erstes Zugseil 121' und ein den Kraftarm  
173 mit dem Schlauchmann 45 verbindendes zweites

Zugseil 121'' aufweist. Der Kraftarm 173 enthält mehre-  
re Bohrungen 174 zur Befestigung des Zugseils 121'',  
über die die Kraftarmlänge und damit das Überset-  
zungsverhältnis des Hebels 171 variiert werden kann.  
Aufgrund der Übersetzung kann eine relativ große Ver-  
tikalbewegung der Mastspitze in einen kleinen Steuer-  
weg am Stellhebel 117 des Neutralisierungs-Steuerven-  
tils 73' umgesetzt werden.

Grundsätzlich ist es möglich, den Winkelhebel im Be-  
reich der Lagerstelle 170 um eine quer zur Hebelachse  
(170), etwa parallel zum Endsegment 27 verlaufende  
Achse schwenkbar am Endsegment 27 zu lagern. Da-  
durch wird eine Drehbewegung des Knickarms über  
den stillstehenden Schlauchmann in ein seitliches  
Schwenken des Hebelarms 173 um die vertikale Dreh-  
achse 175 umgesetzt. Über einen auf der Achse 175  
angeordneten elektrischen Drehgeber 134 kann die  
Drehabweichung gemessen und über die Auswerteelek-  
tronik beispielsweise zur Nachführung des Knickarms  
ausgewertet werden.

Eine sehr genaue Erfassung des vertikalen Abstandes  
der Mastspitze von einer horizontalen Bezugsebene 66'  
ist auch mit der in den Fig. 7a bis c dargestellten, insge-  
samt mit 95 bezeichneten Meßanordnung möglich, bei  
der die Bezugsebene 66' durch die Ausbreitungsebene  
des von einer Laser-Lichtquelle 96 ausgesandten Licht-  
stromes 97 in Form eines gebündelten Laserstrahls ist.

Die Laserlichtquelle 96 ist mit exakt parallelem Ver-  
lauf ihrer optischen Achse 96', die die Ausbreitungsrich-  
tung des Laserstrahls 97 markiert, auf einer Tragplatte  
98 befestigt, die ihrerseits auf einem Stativ 99 montiert  
ist. Auf der Tragplatte 98 ist um eine zu deren Ebene  
senkrecht verlaufende Achse 101 drehbar und mittels  
eines elektrischen Antriebsmotors 102 rotierend an-  
treibbar ein Facettenspiegel 103 mit in der Darstellung  
der Fig. 7a gesehen regelmäßig polygonaler Außenkon-  
tur angeordnet, dessen reflektierende Facettenflächen  
104 senkrecht zur Ebene der Tragplatte 98 verlaufen.

Bei geeigneter geometrischer Zuordnung der Laser-  
lichtquelle 96 und des Facettenspiegels 103 erfährt der  
reflektierte Laserstrahl 97', wenn sich der Facettenspie-  
gel dreht, periodische Auslenkungen, wobei der reflekti-  
erte Laserstrahl 97' einen Winkel  $\Phi$  von näherungs-  
weise 90° überstreicht.

Die Meßanordnung 95 umfaßt weiter eine insgesamt  
mit 108 bezeichnete Foto-Detektoranordnung mit meh-  
reren (n) Fotodetektoren 109; ( $i = 1 - n$ ), die in einer  
ihrer Indizierung (i) entsprechenden, geordneten Rei-  
henfolge übereinander an einem rohrförmigen Träger  
111 angeordnet sind. Der Träger 111 ist höhenverstell-  
bar an einem an dem Endsegment 27 des Knickarms 22  
der Auto-Betonpumpe 10 kardanisch gelagerten, senk-  
recht nach unten hängenden Pendelstab 112 angeord-  
net, bezüglich dessen der die Laserlichtquelle 96 und  
den Facettenspiegel 103 umfassende Teil der Meßord-  
nung 95 so angeordnet wird, daß die Detektoranord-  
nung 108 innerhalb des von den am Facettenspiegel 103  
reflektierten Laserstrahlen 97' überstrichenen Winkel-  
bereiches  $\Phi$  liegt und bezüglich der zentralen vertikalen  
Längsachse 113 des Pendelstabes 112 so orientierbar ist,  
daß die einzelnen Detektoren 109; von den reflektierten  
Laserstrahlen 97' getroffen werden.

Die in definierten vertikalen Abständen  $\Delta z_i$  überein-  
ander angeordneten Fotodetektoren 109; bilden zusam-  
men mit einer elektronischen Auswertungseinheit 116  
ein Mehr-Kanalsystem mit n Signalkanälen, bei dem je-  
der Kanal, wenn der Laserstrahl 97' auf einen der Foto-  
detektoren 109; trifft, einen Impuls erzeugt, der einer



definierten Höhe der Mastspitze 41 über Grund entspricht. Aus einer Auswertung der zeitlichen Folge der von den einzelnen Detektoren 109; bei Schwingungsbewegungen des Masts erzeugten Impulse kann auf die Phasenlage, die Amplitude und die Frequenz einer angeregten Schwingung geschlossen und diese durch Ansteuerung des dem End-Segment 27 zugeordneten Knickantriebs 38 kompensatorisch beeinflusst werden.

Eine sehr genaue Lage-Regelung der Mastspitze 41 und des an dieser hängenden Endschlauches 43 ist auch mit Hilfe von Neigungsgebern möglich, mittels derer die elevatorische Orientierung des Endsegments 27 und/oder des dieses tragenden Segments 26 des Auslegers absolut oder bezüglich einer willkürlich wählbaren Ebene überwachbar ist. Derartige Neigungsgeber können mit einem hohen Winkel-Auflösungsvermögen mit Hilfe von Kreiselinstrumenten erzielt werden, wofür sowohl mechanische Kreisel als auch optoelektronische Richtungsgeber geeignet sind.

Bei der insoweit gegebenen Erläuterung der Lage-Regelkreise 65, 65' ist vorausgesetzt gewesen, daß das Endsegment 27 des Auslegers 22 beim Betonieren in einer horizontalen Stellung gehalten werden kann. Dort führen resonant anregbare Schwingungen des Auslegers 22 im wesentlichen zu Auf- und Ab-Bewegungen des Endschlauches 43 bzw. der Mastspitze 41, so daß solche Bewegungen durch kompensatorische Knick-Bewegungen des End-Segments 27 des Auslegers 22 ausgeglichen werden können. Soweit jedoch resonant anregbare Auslenkungen der Mastspitze 41 des Knickarms 22 aus einer Überlagerung von Knickbewegungen resultieren, die sowohl eine Vertikal- als auch eine Horizontal-Komponente haben, kann es erforderlich sein, daß zum Ausgleich auch mindestens ein Knickantrieb des Knickarms 22 zur Lage-Regelung mit herangezogen werden muß, der zu einer kompensatorischen Bewegung in horizontaler Richtung ansteuerbar ist. Hierzu wird zweckmäßig der Knickantrieb 37 des das Endsegment 27 tragenden Mast-Segments 26 genutzt und mit einem funktionell dem Lage-Regelkreis 65 gemäß Fig. 6 entsprechenden Regelkreis versehen. Dieser muß dann allerdings einen Winkel-Stellungsgeber umfassen, der den Anstellwinkel des das Endsegment 27 tragenden Segments 26 gegenüber dem Segment 25 erfaßt.

Eine wirksame Beruhigung der Mastspitze gegenüber resonant anregbaren Schwingungen ist auch nach dem Prinzip der Schwingungstilgung möglich, gemäß welchem eine an dem schwingungsfähigen Segment elastisch nachgiebig gelagerte Schwingmasse vorgesehen ist, die durch Bewegungen des jeweiligen Segments zu gegenphasig erfolgenden Schwingungsbewegungen anregbar ist. Ein solches Schwingungstilger-System ist insbesondere zur Schwingungs-Neutralisierung von Eigenschwingungen der jeweiligen Mast-Segmente geeignet, die höherfrequent sind als die Eigenschwingungen des Auslegers 22 des Verteilermasts 14 insgesamt. Es wird daher zweckmäßig an einem Ort des jeweiligen Mast-segments 27 und/oder 26 angeordnet, an dem dieses erhebliche Schwingungs-Auslenkungen erfährt, d. h. im Bereich von Schwingungsbäuchen der Eigenschwingungen des jeweiligen Segments.

#### Patentansprüche

1. Betonpumpe mit einem als Träger für eine För-

derleitung (16) dienenden Verteilermast, der einen aus mehreren Segmenten (23-27) bestehenden, als Knickarm ausgebildeten Ausleger (22) hat, der durch Ansteuerung eines Drehantriebes (19) um eine Hochachse (13) zur auf eine Betonierstelle (18) hin ausrichtbar und durch Ansteuerung von den einzelnen Segmenten zugeordneten Knickantrieben, mittels derer die Segmente um zueinander parallele Knickachsen gegeneinander verschwenkbar sind, auf die bis zu der Betonierstelle zu überbrückenden Distanzen so einstellbar ist, daß die durch das freie Ende des Auslegers (22) gebildete Mastspitze (41), an der frei hängend ein Endschlauch (43) der Förderleitung angeordnet ist, in definiertem Abstand vom Betonierniveau positionierbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß ein Lage-Regelkreis (65; 65') vorgesehen ist, der innerhalb eines vorgebbaren Variationsbereiches das Niveau des mastseitigen Endes des Endschlauches (43) bezüglich einer ortsfesten, horizontalen Bezugsebene (66; 66') stabilisiert.

2. Betonpumpe nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Sensoreinrichtung (67; 67'; 95; 118) vorgesehen ist, die für mindestens die Richtung lastwechselbedingter Auslenkungen der Mastspitze (41) charakteristische Ausgangssignale erzeugt, durch die ein Koordinaten-Stellantrieb (38) zu kompensatorischen Auslenkungen der Mastspitze oder des Endschlauches (43) ansteuerbar ist.

3. Betonpumpe nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Koordinaten-Stellantrieb des Lage-Regelkreises (65; 65') der Knickantrieb (38) des die Mastspitze (41) aufweisenden Endsegments (27) des Knickarms (22) genutzt ist.

4. Betonpumpe nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein weiterer Knickantrieb des Knickarms (22), vorzugsweise der Knickantrieb (37) des mit dem Endsegment (27) gelenkig verbundenen Segments (26), als Koordinaten-Stellantrieb genutzt ist.

5. Betonpumpe nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Kennkreisfrequenz des Koordinaten-Stellantriebs einem Vielfachen der Frequenz der höchstfrequenten Eigenschwingung des Knickarmes (22) entspricht.

6. Betonpumpe nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoreinrichtung mindestens einen der nachfolgend genannten Geber umfaßt, der ein für die erfaßte Größe charakteristisches elektrisches Ausgangssignal erzeugt:

a) einen Abstandssensor (67) für die Erfassung des Abstandes zwischen der Mastspitze (41) und der Bezugsebene (66; 66')

b) einen Beschleunigungsgeber, der vorzugsweise an der Mastspitze (41) angeordnet ist,

c) einen Neigungsgeber für das Endsegment (27) des Auslegers (22).

7. Betonpumpe nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die Knickantriebe des Verteilermasts (14) als doppelt wirkende Hydrozylinder ausgebildet sind, die über druckbetätigte, elektrohydraulisch oder elektropneumatisch vorgesteuerte Maststeuerventile zur Ausführung der Positionierungsbewegungen der Knickarmsegmente einzeln oder zu mehreren ansteuerbar sind, dadurch gekennzeichnet, daß der Lageregelkreis (65, 65') ein als Proportionalventil ausgebildetes Neutralisierungs-Steuerventil

(73; 73') enthält, über das der Koordinaten-Stellantrieb aus einer Hilfsdruckquelle (74) versorgbar ist, und daß der Lageregelkreis (65; 65') im Regelungs-  
betrieb gegen den Druckausgang des für den Positionierungsbetrieb des Verteilermasts (14) vorgesehenen Druckversorgungsaggregats abgesperrt ist.

8. Betonpumpe nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Neutralisierungs-Steuerventil (73; 73') in der Nähe des Antriebs-Hydrozylinders (51) des als Koordinaten-Stellantrieb genutzten Knickantriebes (38) angeordnet ist.

9. Betonpumpe nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Hilfsdruckquelle (74) des Lageregelkreises (65; 65') einen Hochdruckspeicher (89) umfaßt, der in unmittelbarer Nähe des Neutralisierungs-Steuerventils (73, 73') angeordnet ist.

10. Betonpumpe nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Neutralisierungs-Steuerventil (73') als mechanisch betätigbares oder als mechanisch vorgesteuertes Proportionalventil ausgebildet ist, das über einen unter Zug-Vorspannung stehenden Seilzug (118) betätigbar ist, dessen Zugseil (121) mit seinem einen Ende mittelbar oder unmittelbar an einem Steuerelement (117) des Neutralisierungs-Steuerventils (73') angreift und mit seinem in definiertem Abstand über der Betonierfläche oder auf deren Höhe gehalten wird.

11. Betonpumpe nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Zugseil mit seinem anderen Ende am Körper einer den Endschlauch führenden Bedienungsperson (45) festgelegt ist.

12. Betonpumpe nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Zugseil (121) über eine Umlenkrolle (133) oder über einen am Endsegment (27) in der Nähe der Mastspitze (41) mit im wesentlichen quer zur Knickebene des Endsegments ausgerichteter Hebelachse (170) angelenkten Hebel (172, 173) mit dem Steuerelement (117) gekoppelt ist.

13. Betonpumpe nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Hebel als zweiarmiger Winkelhebel ausgebildet ist, an dessen Kraftarm (173) das eine Zugseilende in wählbarem Abstand von der Hebelachse (170) befestigbar ist und dessen Lastarm (172) unmittelbar oder mittelbar, beispielsweise über ein weiteres Zugseil (121') oder eine Stange, mit dem Steuerelement (117) gekoppelt ist.

14. Betonpumpe nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Umlenkrolle (123) oder der Hebel (172, 173) zusätzlich um eine quer zur Hebelachse (170), etwa parallel zum Endsegment (27) verlaufende, mit einem Drehgeber (134) bestückte Drehachse (175) verschwenkbar am Endsegment (27) gelagert ist.

15. Betonpumpe nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Neutralisierungs-Steuerventil (73) als elektrisch steuerbares oder elektrisch vorsteuerbares Proportionalventil ausgebildet ist, das durch Steuersignale einer die Ausgangssignale zur Erfassung von Schwingungen des Knickarms (22) vorgesehener Sensoren (67; 108) verarbeitenden Steuereinheit (72) ansteuerbar ist.

16. Betonpumpe nach Anspruch 15, dadurch ge-

kennzeichnet, daß der Abstandssensor (67) als aktiver Sensor ausgebildet ist, der nach dem Prinzip der Laufzeitmessung von Impulssignalen arbeitet.

17. Betonpumpe nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstandssensor (67) als Ultraschall-Sensor ausgebildet ist, der höhenverstellbar an dem die Mastspitze (41) bildenden Endabschnitt des Endsegments (27) angeordnet ist.

18. Betonpumpe nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstandssensor (67) an einem vom Endsegment (27) herabhängenden, um mindestens eine Achse (69), die parallel zur Achse (32) des Knickgelenks des Endsegments (27) verläuft, frei beweglichen, vorzugsweise kardanisch aufgehängten Pendel angeordnet ist.

19. Betonpumpe nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Markierung einer Bezugsebene (66') für die Abstandsmessung eine Laserlichtquelle (96) vorgesehen ist, und daß eine Auf- und Abbewegungen des Endsegments (27) des Knickarms (22) mitausführende Detektoranordnung (108) vorgesehen ist, die eine Anzahl (n) von in vertikalen Abständen ( $\Delta z_i$ ) voneinander unterhalb und oberhalb der Bezugsebene (66) angeordneten Photodetektoren (109i) aufweist.

20. Betonpumpe nach einem der Ansprüche 6 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Neigungsgeber als mechanischer oder faseroptischer Kreisel ausgebildet ist, der ein elektrisches Ausgangssignal liefert, das ein Maß für den Anstellwinkel des Endsegments (27) des Knickarms (22) gegenüber einer wählbar vorgegebenen, in der Knickebene der Knickarmsegmente (23 bis 27) verlaufenden Achse ist.

21. Betonpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausleger (22) des Verteilermasts (14) mit einem Schwingungstilger versehen ist, der einen elastisch am Ausleger (22), vorzugsweise in der Nähe der Mastspitze abgestützten, gegenüber resonanten Schwingungen des Knickarms (22) zu gegenphasigen Schwingungsbewegungen anregbaren Massenkörper umfaßt.

22. Betonpumpe nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Massenkörper durch die am Endsegment angeordneten Bauteile des Lageregelkreises gebildet sind.

23. Betonpumpe mit einem als Träger für eine Förderleitung dienenden Verteilermast, der einen aus mehreren Segmenten bestehenden, als Knickarm ausgebildeten Ausleger hat, der durch Ansteuerung eines Drehantriebes um eine Hochachse zur auf die Betonierstelle hin ausrichtbar und durch Ansteuerung von den einzelnen Segmenten zugeordneten Knickantrieben, mittels derer die Segmente um zueinander parallele Achsen schwenkbar sind, auf die bis zu der Betonierstelle zu überbrückenden Distanzen so einstellbar ist, daß die durch das freie Ende des Auslegers gebildete Mastspitze, an der frei hängend ein Endschlauch der Förderleitung, über den der Beton zur Betonierstelle hin austritt, angeordnet ist, in definiertem Abstand vom Betonierniveau positionierbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausleger (22) des Verteilermasts (14) mit einem Schwingungstilger versehen ist, der einen elastisch am Endsegment des Auslegers (22) abgestützten, gegenüber resonant anregbaren Schwingungen des Knickarms (22) zu gegenphasi-

gen Schwingungsbewegungen anregbaren Massenkörper umfaßt.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65



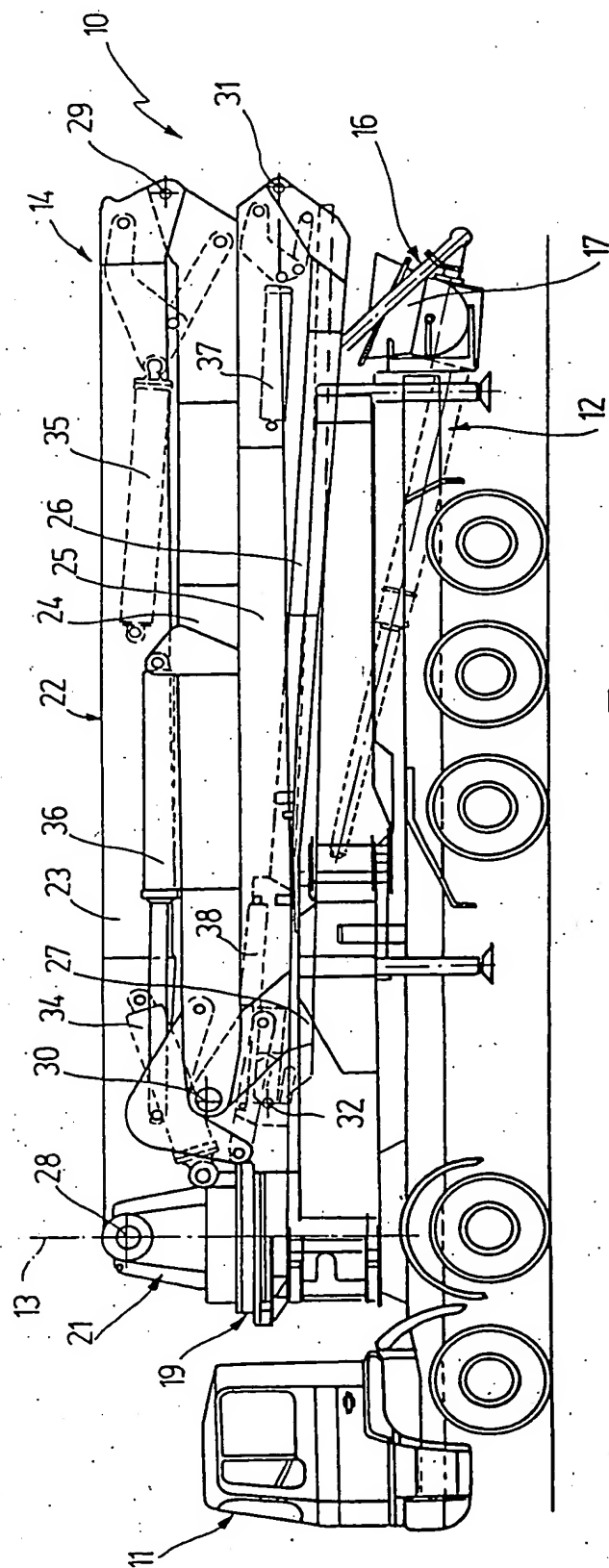


Fig. 1

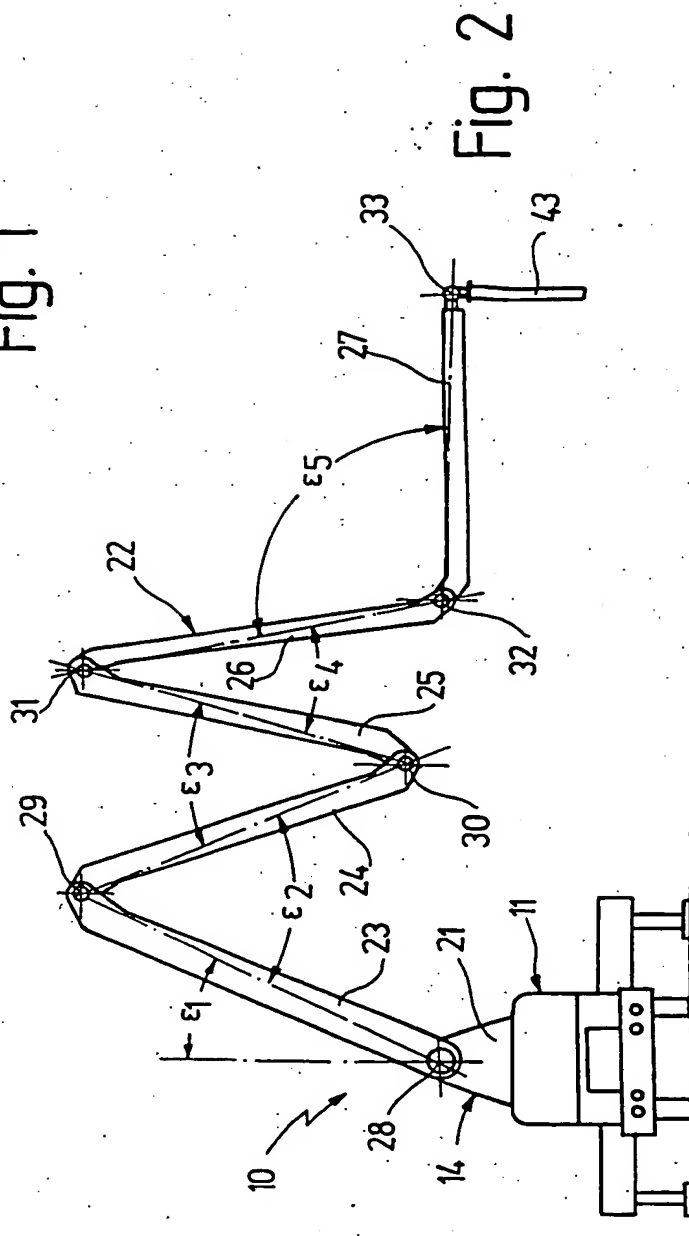


Fig. 2

Fig. 3

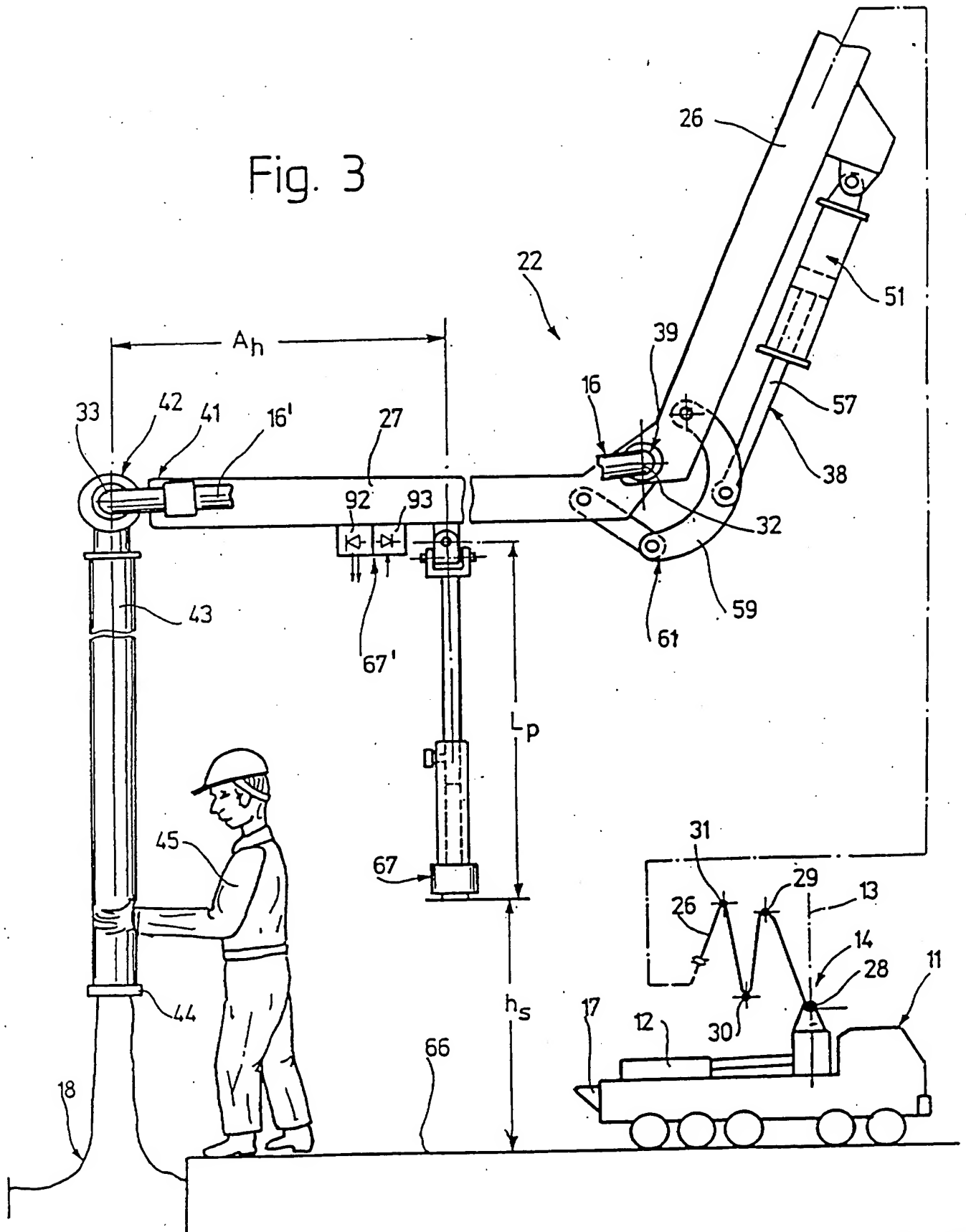




Fig. 5

